

X17: Egy új részecske keresése az ATOMKI-ban

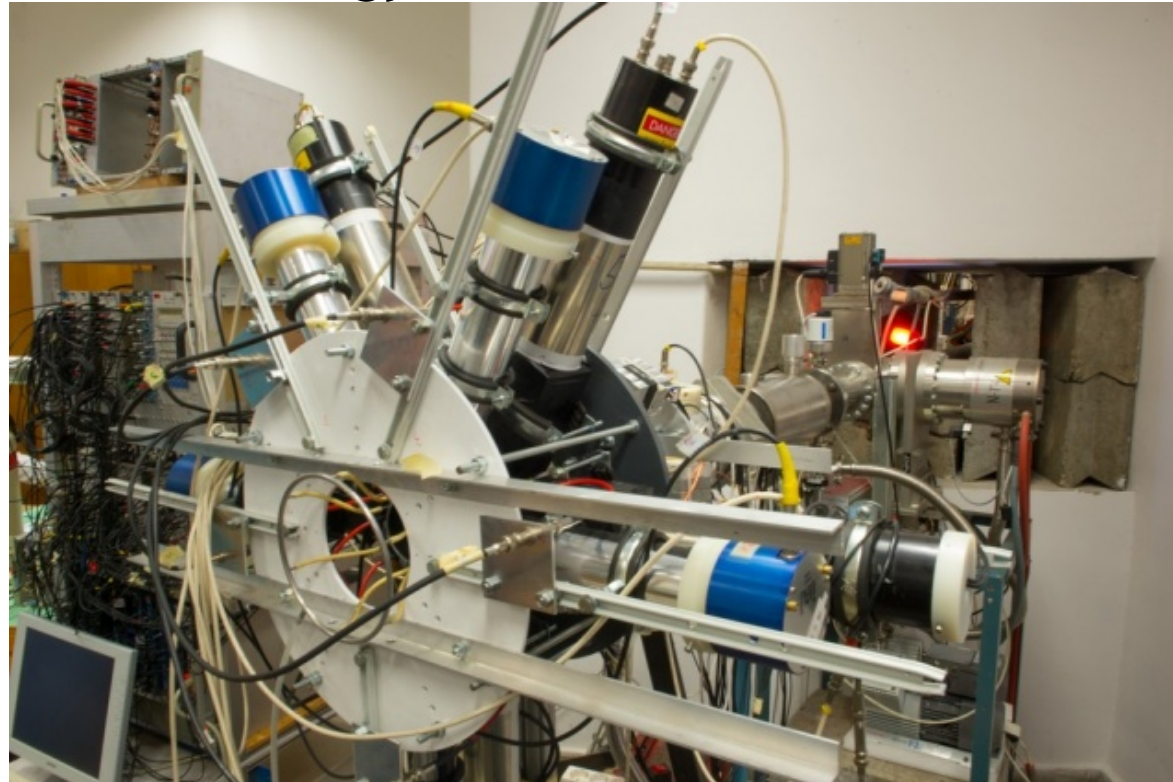
1

2020. november 5.
Pórfy Barnabás,
Magfizika Szeminárium

ATOMKI

2

- Debrecenben található az Atommagkutató Intézet (ATOMKI)
- Különböző gyorsítók: kaszkádgyorsító, Van de Graaf, ciklotron, ...
- X17-hez 5 MV-os Van de Graaf gyorsítót használtak
- A detektor:

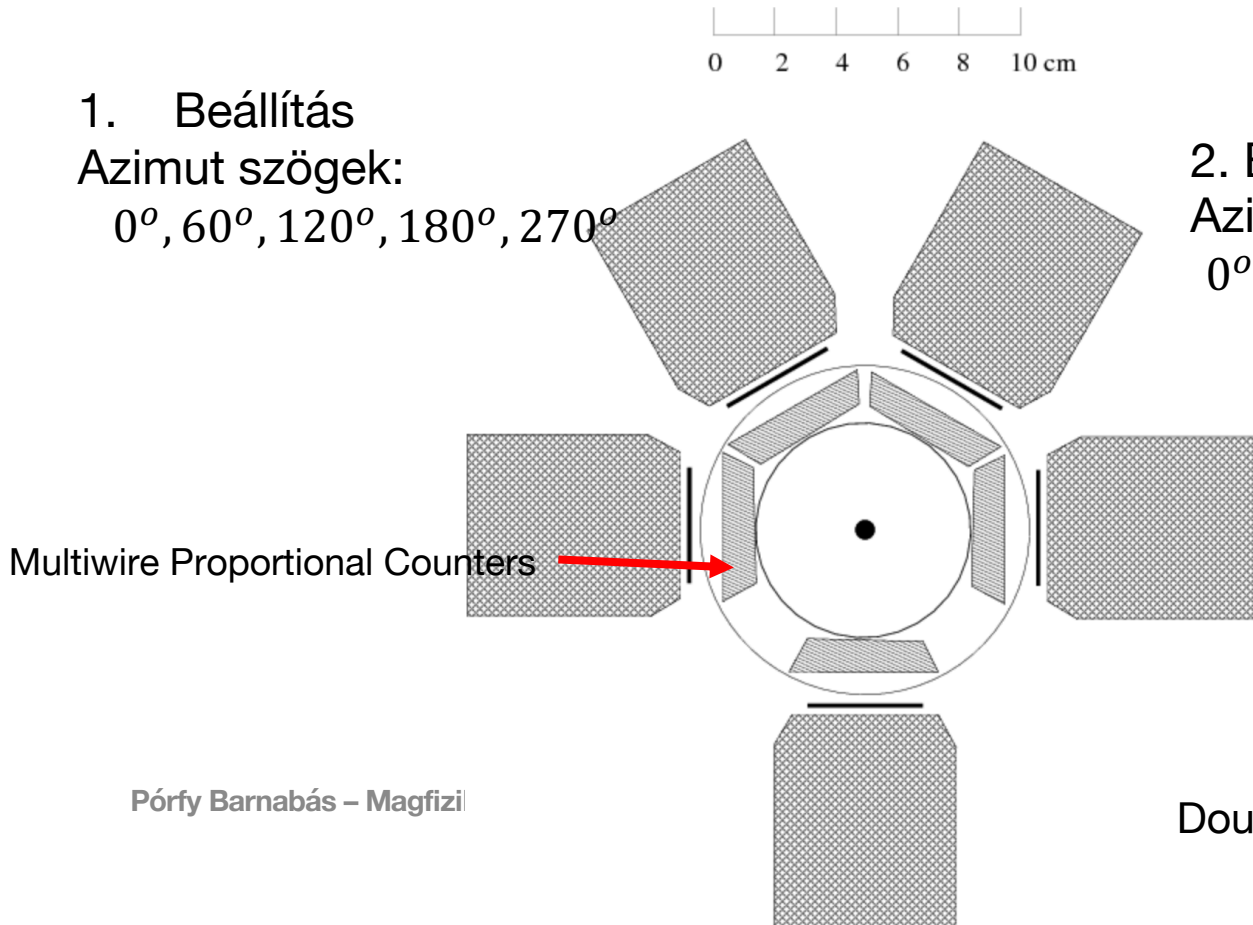


- X17-hez két beállításban üzemelt a detektor:

1. Beállítás

Azimut szögek:

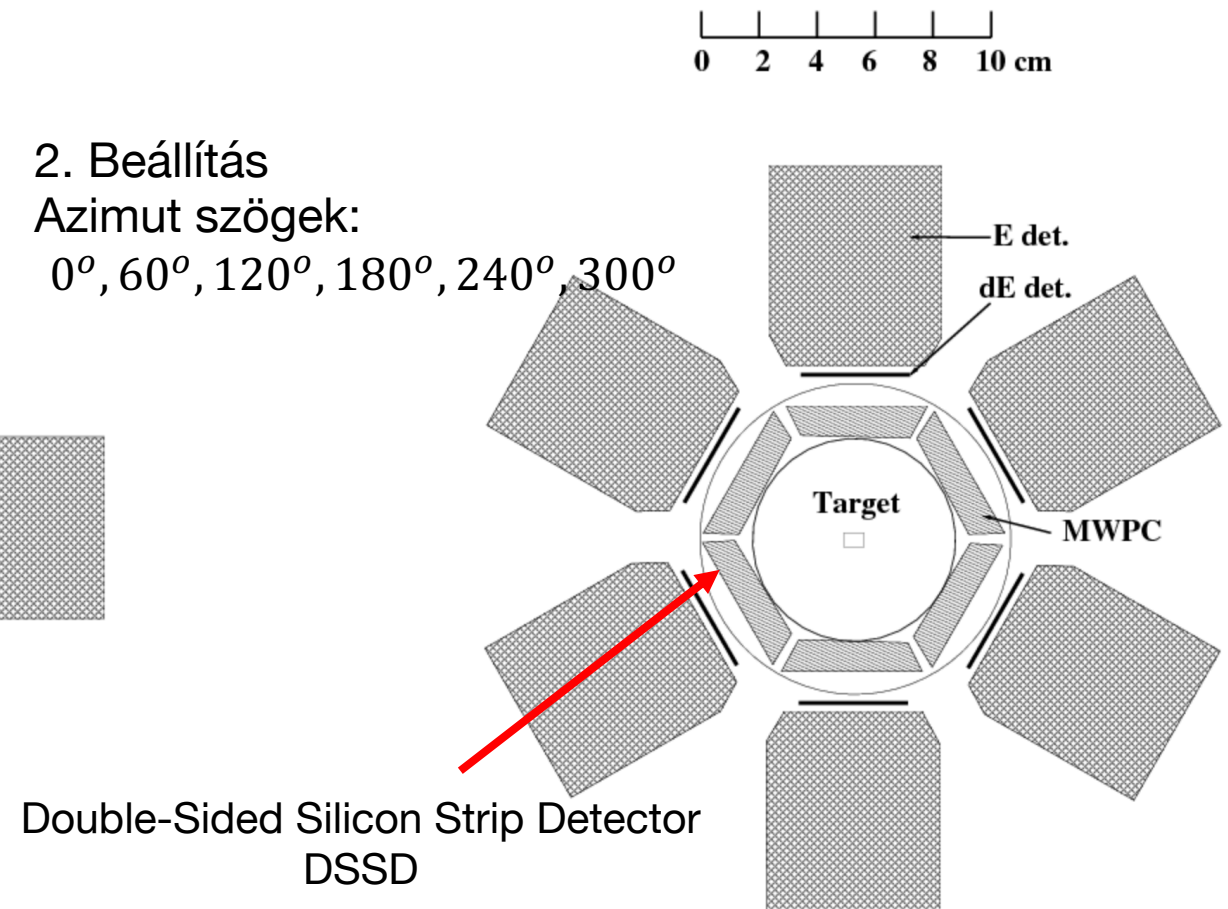
$0^\circ, 60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 270^\circ$



2. Beállítás

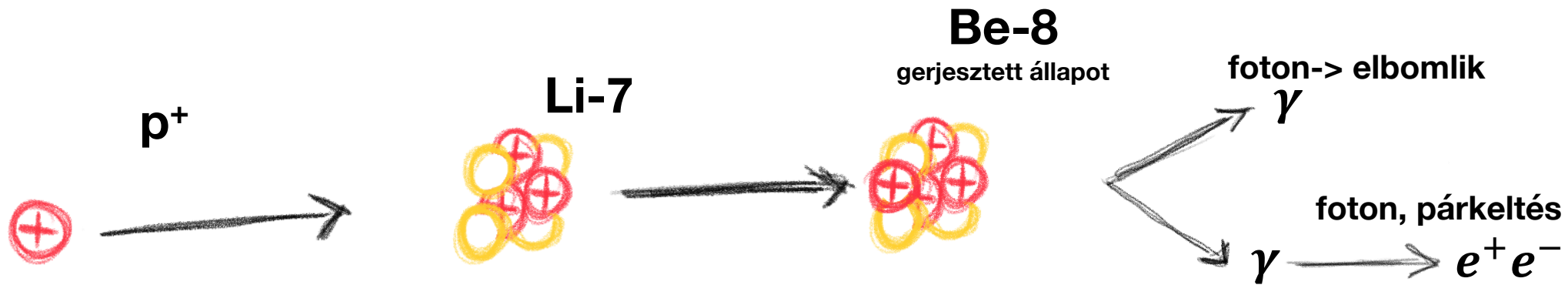
Azimut szögek:

$0^\circ, 60^\circ, 120^\circ, 180^\circ, 240^\circ, 300^\circ$



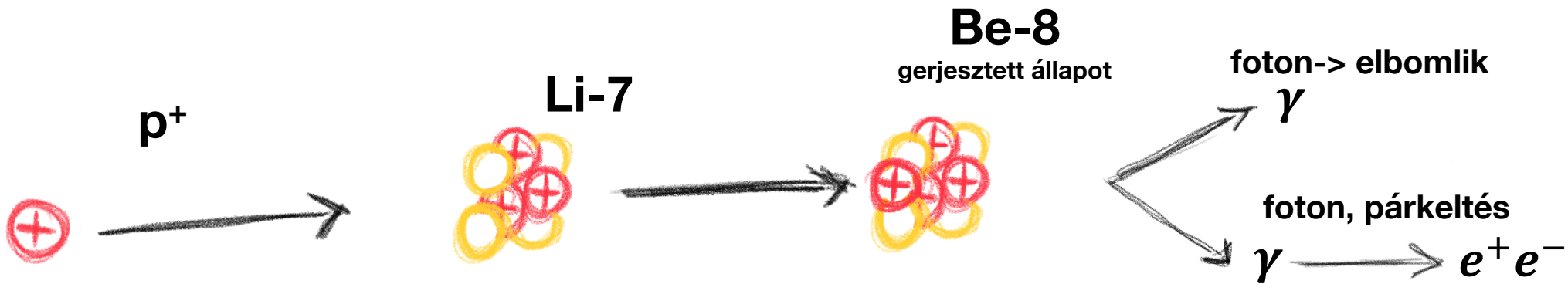
A folyamat

4



A folyamat

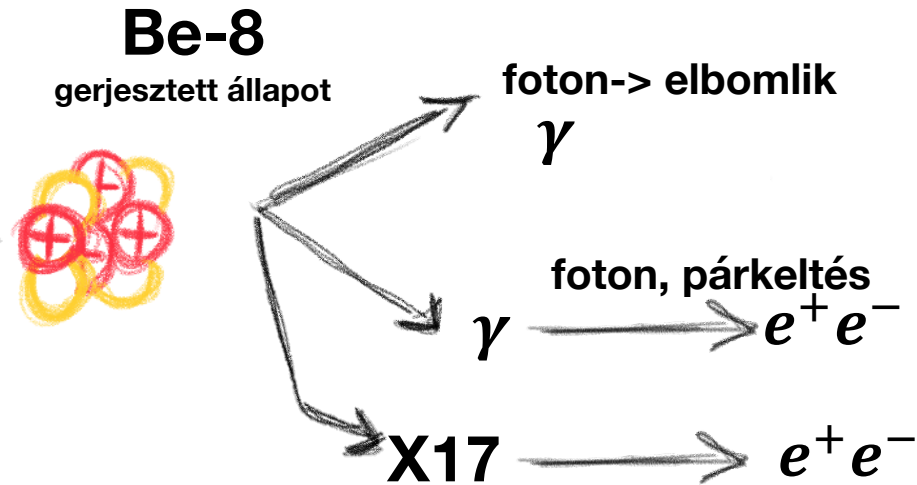
5



- $e^+ e^-$ párok, nagyjából párhuzamosak, és minél nagyobb szögeknél nézzük, annál kevesebb lesz, ugye?

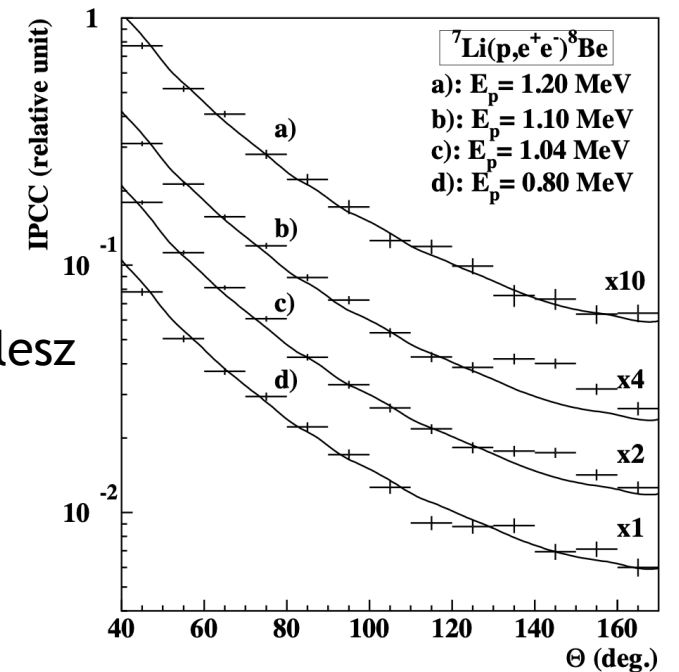
A folyamat

6



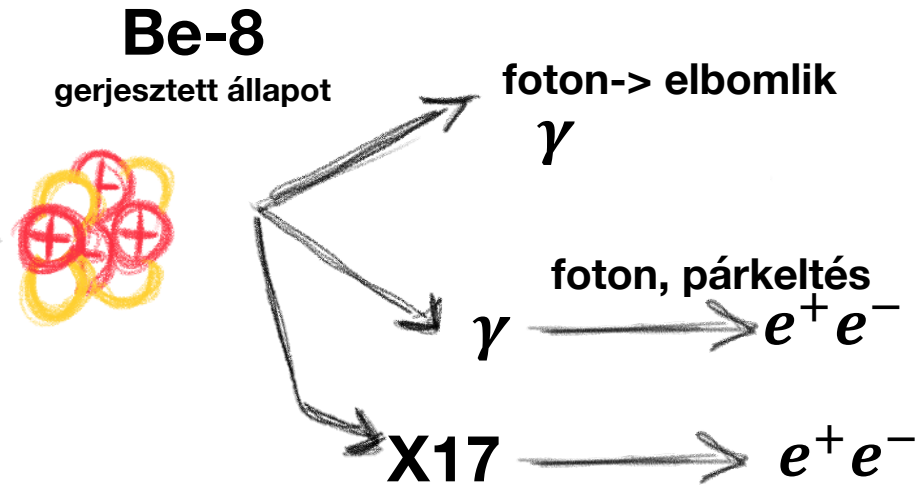
- $e^+ e^-$ párok \sim párhuzamosak, minél nagyobb szögeknél nézzük, annál kevesebb lesz
- Természetesen ezt várnánk...
- Azonban: egy dombot látunk $\theta \approx 140^\circ$ -nál, vajon miért?

Pórfy Barnabás – Magfizika Szeminárium



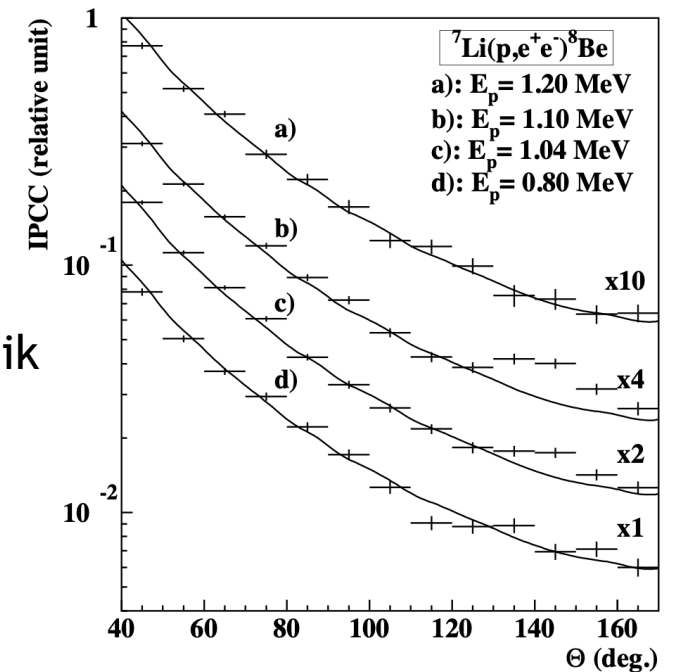
A folyamat

7



- Az X17 tömege a mérések alapján $\sim 17\text{MeV}$
- Domb $\theta \approx 140^\circ$ -nál? masszív részecske, így a párkeltés nagyobb szögeknél jelenik meg
- Ez $6,8\sigma$ esemény! Tehát $5,6 \cdot 10^{-12}$ az esély arra, hogy fluktuáció

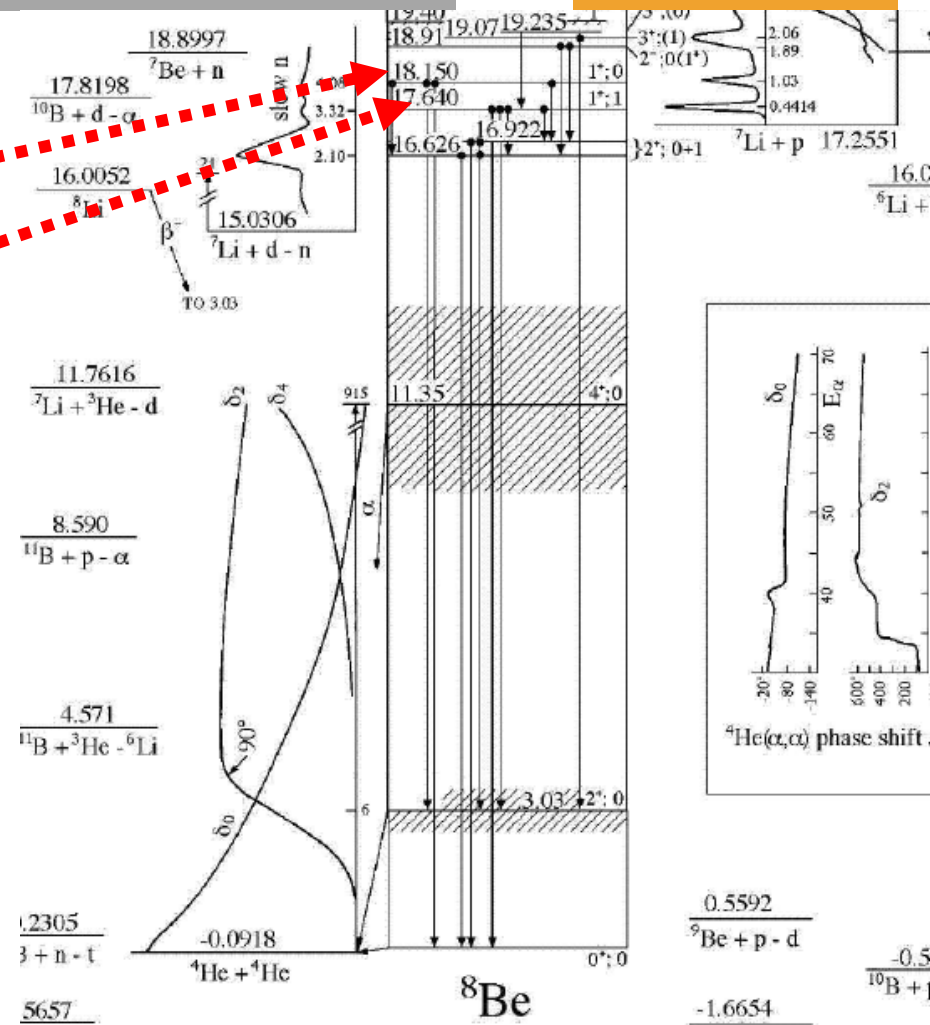
Pórfy Barnabás – Magfizika Szeminárium



Pontosítsunk...

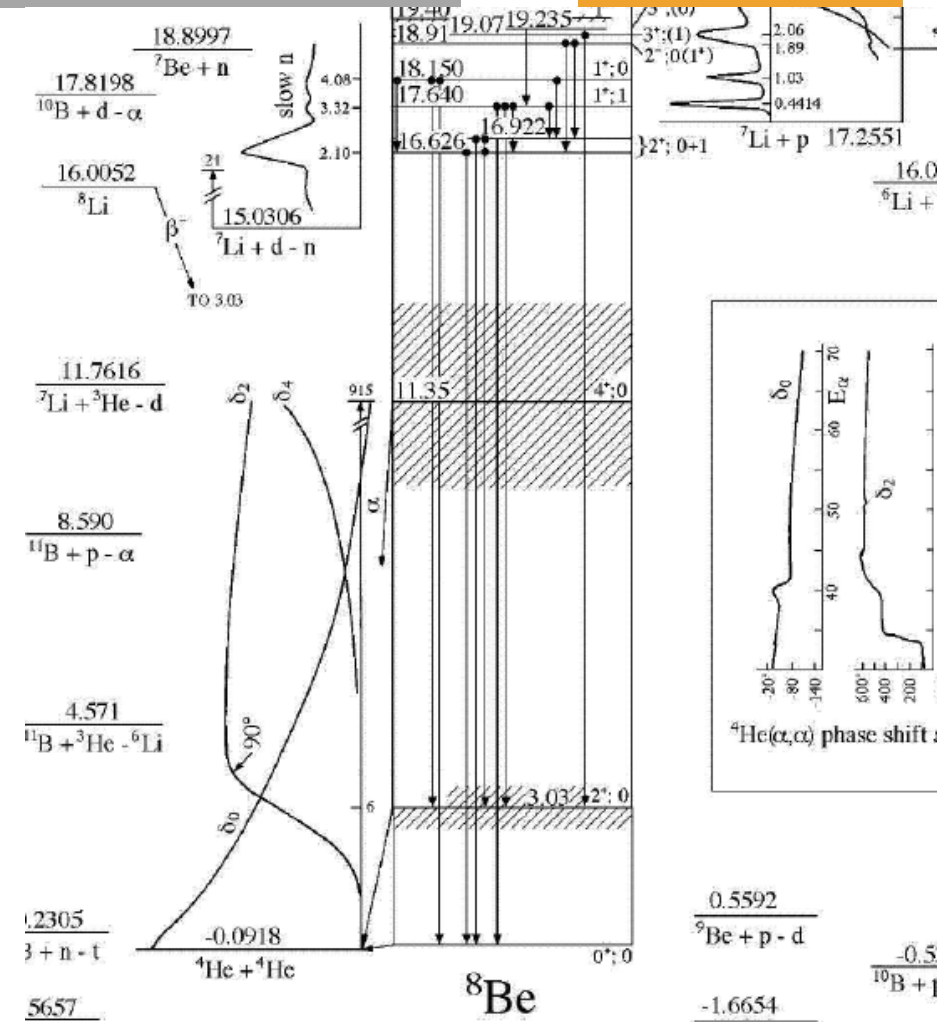
8

- Li-7 vékony céltárgyat protonnal sugárzunk, $E_p = 1,10$ MeV
- 1. detektor beállítás
- Be-8 keletkezik: ${}^8\text{Be}^* = 18,150$ MeV vagy ${}^8\text{Be}^{*'} = 17,640$ MeV



Pontosítsunk...

- Legtöbbször vissza is bomlik Li-7 és p⁺-re
- Néha ($B(^8\text{Be}^* \rightarrow ^8\text{Be} \gamma) \approx 1,4 \cdot 10^{-5}$) relaxál az alapállapotra és kiad egy fotont
- Néha, ritkábban ($B(^8\text{Be}^* \rightarrow ^8\text{Be} e^+e^-) \cdot B(^8\text{Be}^* \rightarrow ^8\text{Be} \gamma) \approx 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 3,9 \cdot 10^{-3} \approx 5,5 \cdot 10^{-8}$) kiad egy e^+e^- párt a foton
- Ritkán ($B(^8\text{Be}^* \rightarrow ^8\text{Be} X)/B(^8\text{Be}^* \rightarrow ^8\text{Be} \gamma) = 5,8 \cdot 10^{-6}$, és $B(X \rightarrow e^+e^-) = 1$) megjelenik az X17, egy új bozon
 - X17: $16,7 \pm 0,35(\text{stat}) \pm 0,5(\text{sys})$ MeV, később: 17,01(16) MeV
 - $L = 1$, "protophobic"?
- Nem láttak ilyen folyamatot $^8\text{Be}^{*'} \text{ esetén, később megmérték } B(^8\text{Be}^{*'} \rightarrow ^8\text{Be} X)/B(^8\text{Be}^{*'} \rightarrow ^8\text{Be} \gamma) = 2 \cdot 10^{-6}$

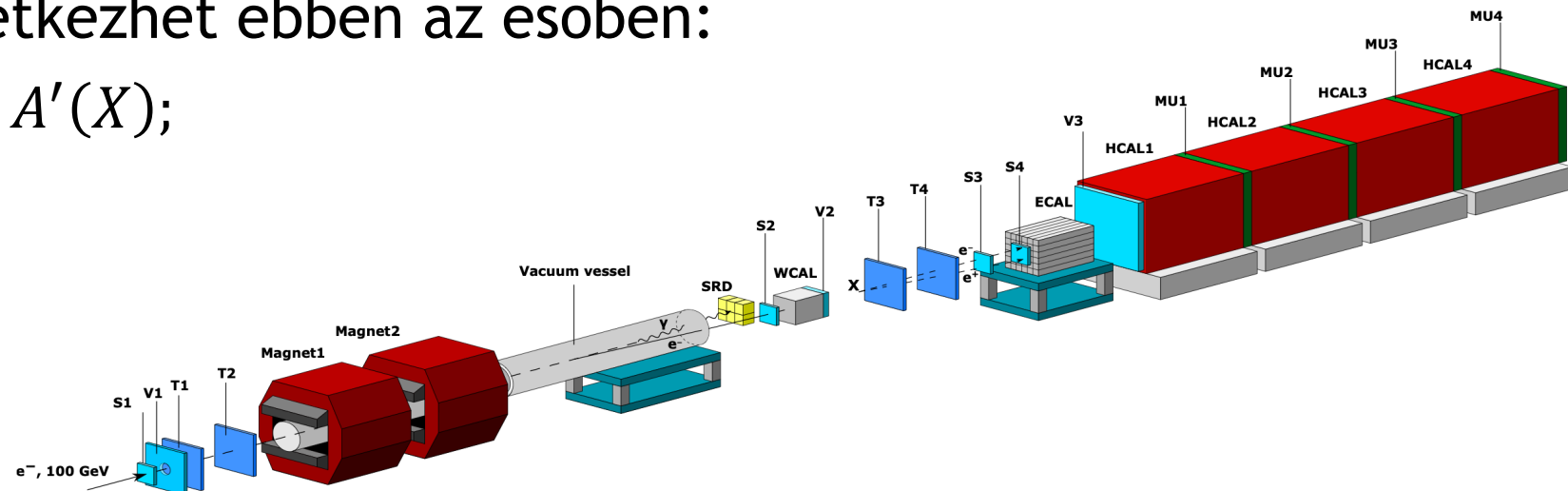


- NA48 - Protophobia
 - Új töltést kell behozni
 - Máshogy lép kapcsolatba a protonnal, mint neutronnal
 - Nem látja a protonokat
- NA64 - Sötét anyag, foton
 - Sötét anyag puzzle megoldása?
 - Azt gondolják, hogy: A' (Sötét foton) $\rightarrow e^+e^-$
 - Lehet, hogy X17 magyarázatot ad erre
 - A látható anyagot és sötét anyagot összekötő erő
 - $m_{A'} \leq 1 \text{ GeV}$

- NA64 - CERN SPS, Északi Terület
- Nagyenergiás e^- nyaláb e-m kaloriméterbe WCAL (aktív beam dump)
- Általánosan elveszti az összes eső (shower)-energiáját a dumpban
- Ha létezik A' akkor keletkezhet ebben az esőben:

$$e^- + Z \rightarrow e^- + Z + A'(X);$$
$$A'(X) \rightarrow e^+ e^-$$

- ECAL érzékeli $e^+ e^-$
 - Energiát mér



- Sok hasonló esemény van ehhez
- Ki kell szűrni
- $K_S^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0; \pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-$

TABLE I. Expected numbers of background events in the signal box estimated for 5.4×10^{10} EOT.

Source of background	Events
$e^+ e^-$ pair production by punchthrough γ	< 0.001
$K_S^0 \rightarrow 2\pi^0; \pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-; \gamma \rightarrow e^+ e^-; K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	0.06 ± 0.034
$\pi N \rightarrow (\geq 1)\pi^0 + n + \dots; \pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-; \gamma \rightarrow e^+ e^-$	0.01 ± 0.004
π^- bremsstrahlung in the WCAL, $\gamma \rightarrow e^+ e^-$	< 0.0001
$\pi, K \rightarrow e\nu, K_{e4}$ decays	< 0.001
$eZ \rightarrow eZ\mu^+ \mu^-; \mu^\pm \rightarrow e^\pm \nu\nu$	< 0.001
punchthrough π	< 0.003
Total	0.07 ± 0.035

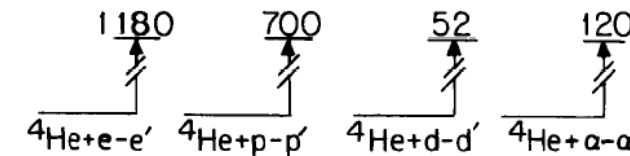
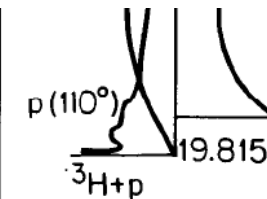
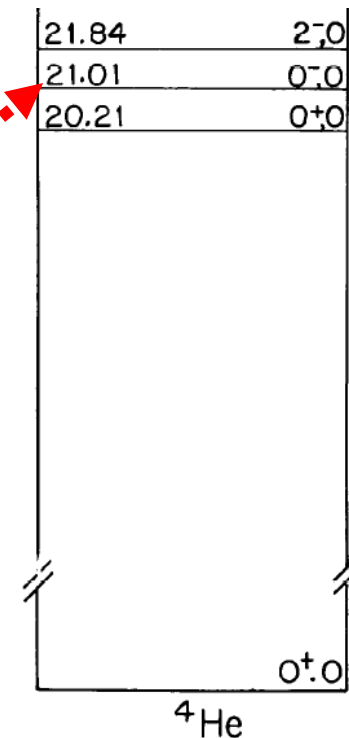
- $5,4 \cdot 10^{10}$ electrons on target (EOT)
- Eredmény: nem látnak X-bozont ebben a kísérletben
- ATOMKI - magfizikai kísérlet, míg NA64 részecskefizikai

Új kísérlet - ^4He

13



- ^8Be -cal analóg módszer: ^3H céltárgy + p^+
- $E_p = 900 \text{ keV}$
- Gerjesztjük a 20,49 MeV-re, ami 21,01-es állapot centroidja alatt van
- 2. típusú detektor beállítás van



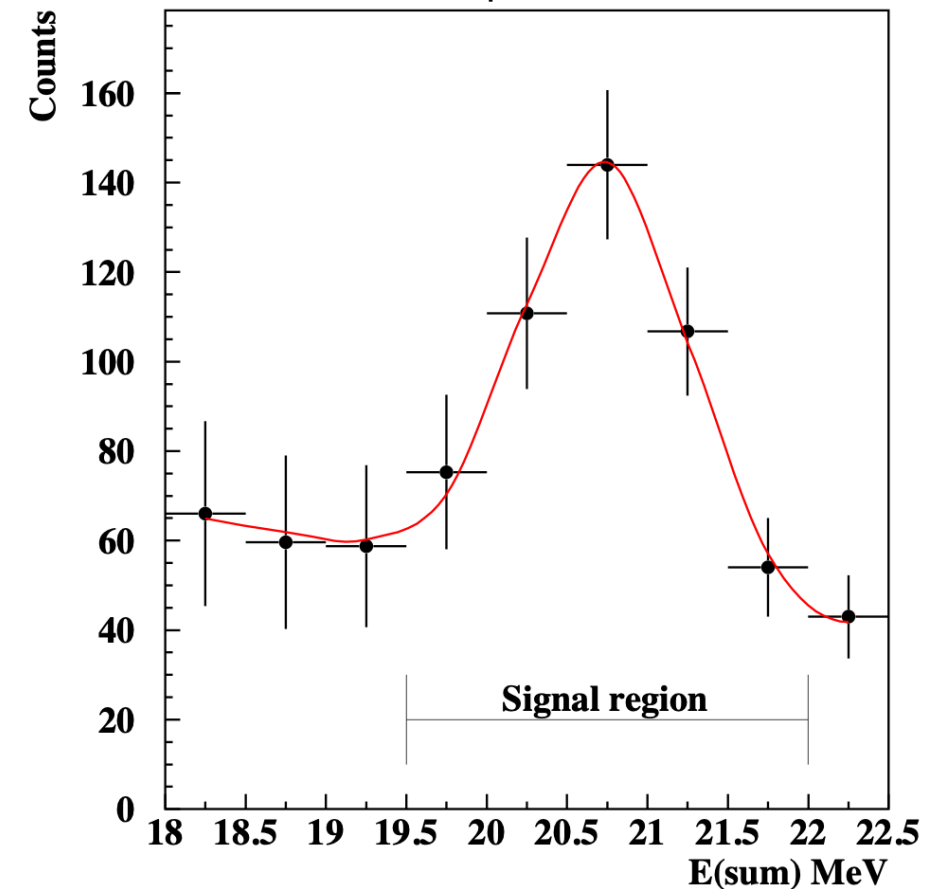
Új kísérlet - ${}^4\text{He}$

14



- Fontos a kutatás során figyelni a kozmikus háttérsugárzást:
 - 2 héttel a kísérlet előtt és 2 héttel a kísérlet után felvett háttért kivonjuk az adatsorból
 - Egy aktív pajzsot telepítettek az e^+e^- spektrométer fölé ez nagyjából a kozmikus sugarak hatását felére csökkentette
- Fontos még a külső párkeletkezést is kiszedni:
 - Két detektor, egyik $\theta = 120^\circ$ a másik $\theta = 60^\circ$
 - Mivel $\theta \approx 115^\circ$ -re várják a fontos eseményeket, a második detektor remelhetőleg csak háttér
 - Így a második spektrumot kivonták az elsőből

Háttéret kiszedve, a teljes energia spektrum e^+e^- pároknál



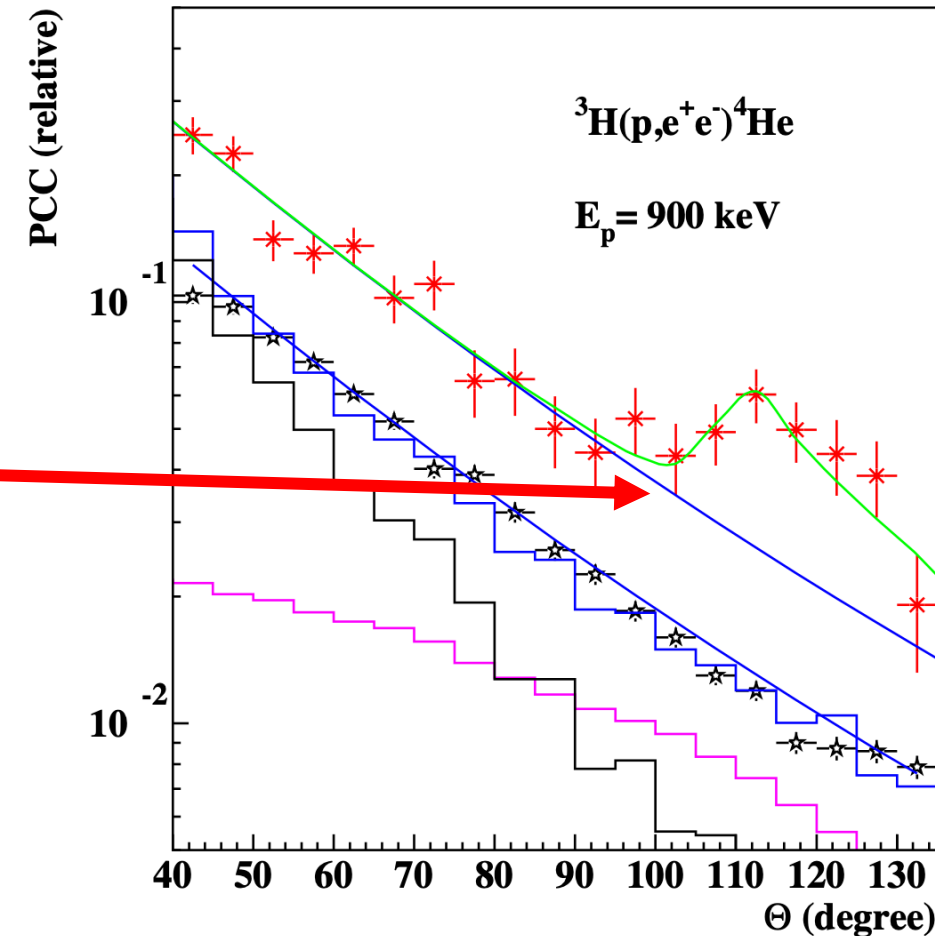
^4He eredmény

15



Jelölések:

- Piros kereszt: szöghorreláció kísérleti eredmény
- Fekete csillag: szöghorreláció háttér régió értékei
- Magenta és fekete hisztogram: külső és más párkeltésből származó háttér (szimulált)
- Magenta és fekete összege illetve a háttérre a kék hisztogram
- A háttérre 4-ed rendű polinommal illesztették: kék TELJES görbe
- Zöld görbe: szimulált szöghorreláció

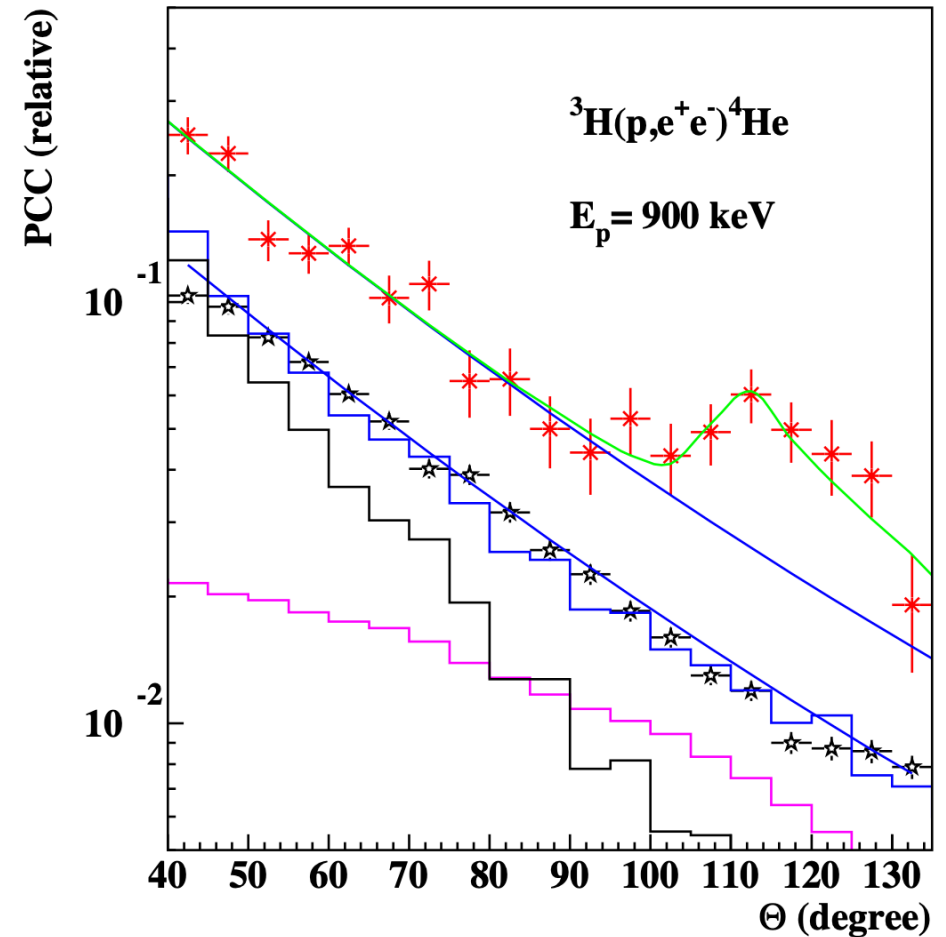


^4He eredmények

16



- A részecske tömege: $16,84 \pm 0,16(\text{stat}) \pm 0,20(\text{sys})$
- $7,2\sigma$ bizonyossággal



- **Miért nem láthatja az NA64?**
- **FONTOS!**
 - ATOMKI - Magfizika kísérlet; NA64 - Részecskefizika kísérlet
 - Más a két megközelítés
 - Nem azt mondják, hogy nem létezik, csak ők nem látják

- Miért nem fogadják/fogadták el?
- Higgs-boson és X17 összehasonlítása
 - Higgs: Standard Model, matematikailag várható
 - Higgs: Két detektor, ATLAS, CMS nagyjából egyszerre találta meg
 - X17: ? Egy anomália
 - X17: Csak EGY kísérlet találta meg, majd később újra más rendszerből
 - Nagyon valószínűtlen, hogy két azonos tömegű részecskét találtak
- Eddig csak részecskefizikai kísérletek vizsgálódtak, tehát nem konkrétan ugyanaz a folyamat
- Mivel kétszer megtalálták már, ^8Be és ^4He -ből, biztosabb az eredmény

Mi van ha?

19

- Az egész egy hiba?
- Más magyarázat?

- Az egész egy hiba?
 - Esetleg elszámoltak valamit - nehezen lehetséges, de persze előfordulhat
 - Erőteljesen ellene mutat, hogy nagyjából 7σ mindkét rendszerben az eredmény
- Más magyarázat?
 - Jelenleg a magyarázat az, hogy ez egy részecske, bozon
 - Módosított Bethe-Heitler folyamat? Új magyarázat: $\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$
 - Elméletben elbukik: túl alacsony a valószínűsége egy ilyen eseménynek
 - Kísérletileg nem igazolt
 - Új ötletek jönnek: ~10 cikk jött ki a ${}^4\text{He}$ cikk óta

Konkluzió

21

- X17: $m_X \cong 17 \text{ MeV}$,
 ^8Be és ^4He -ből legerjesztődik, és néha kibocsátja az X17-t, ami egy elektron, pozitron párba bomlik
- Létezik a részecske?
 - Jelenleg nehéz válaszolni a kérdésre
 - Nincs hasonló magfizikai kísérlet, csak részecskefizikai
- Kétszer is észlelték az ATOMKI-ban, különböző rendszerekben
 - Valamit látnak, de más kísérletektől is kellene bizonyíték

- Kimaradt:
 - Protophobia mélyebben - új töltés, pontos matematika
 - $(g - 2)_\mu$ kérdése - $g = 2$ -től eltérés
 - vektor, pszeudoskalár
- Ha létezik
 - Ötödik (hatodik) erő
 - Milyen teret generál? Milyen ez az erő? Miért nem láttuk korábban?
- Milyen gyakran jön/jöhet létre a természetben?
 - Ahhoz, hogy létezessen, be kellett hozni, hogy protophobic
- Sötét anyag jelölt?
 - Tömegre megegyezik a jóslattal

Köszönöm a figyelmet!

- <https://arxiv.org/pdf/1504.01527.pdf>
- <https://arxiv.org/pdf/1604.07411.pdf>
- <https://arxiv.org/pdf/1910.10459.pdf>
- <https://arxiv.org/pdf/1803.07748.pdf>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Fifth_force
- https://en.wikipedia.org/wiki/Beryllium-8#Decay_anomaly_and_possible_fifth_force
- <https://arxiv.org/pdf/1504.00489.pdf>

- <https://inspirehep.net/files/b9db350e0f941849d04596f959dc3eea>
- <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1056/1/012028/pdf>
- <https://mta.hu/english/an-as-of-yet-unknown-force-has-been-discovered-in-mta-atomki-according-to-american-physicists-106564>
- <https://youtu.be/8k6dKfmOufI>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Pseudoscalar#Pseudoscalars_in_physics
- https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_boson

- <https://arxiv.org/pdf/2009.02756.pdf>
- <https://arxiv.org/pdf/2003.05722.pdf>